

ÉRZÉKELŐK

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

22. ELŐADÁS: NANOTECHNOLÓGIA ÉS ÉRZÉKELŐK I: BEVEZETÉS A NANOTECHNOLÓGIÁBA



2013/2014 2. félév

1

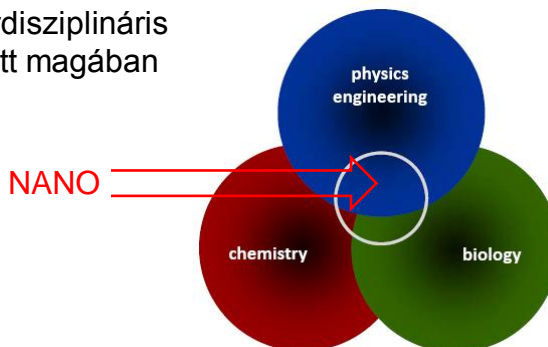
NANOTUDOMÁNY ÉS NANOTECHNOLÓGIA

Mi a nanotudomány/nanotechnológia?

Igen kisméretű, nagyjából 1 nm és 100 nm közötti méretű objektumok, az ezen a skálán végbenő jelenségek és folyamatok vizsgálata, feltárása, az objektumok és szerkezetek előállítás és alkalmazása.

Rohamosan fejlődő, interdiszciplináris terület, mely többek között magában foglal

fizikát
kémiaát
biológiát
technológiát
anyagtudományt
elektronikát, stb.



MIKROTECHNOLÓGIA

Az elmúlt 50 évben az elképesztő miniatürizálás az elmúlt években kifejlesztett és iparilag alkalmazott mikrotechnológiának köszönhető. A mikrotechnológia ma éli virágkorát, és az elektronika, azon belül az informatika döbbenetes fejlődését hozta magával. Létét mikroszkópnak köszönheti, és legfontosabb gyártási eszköze, mely egyben az előállított eszközök legkisebb karakterisztikus méretét meghatározza, a fotolitográfias eljárás, amikor is vékony rétegeken, elsősorban félvezetőkön, azon belül is a szilícium egykristály felületén az eszközök alapjául szolgáló struktúrákat alakítanak ki lényegében a fényképezés segítségével. Néhány négyzetmilliméter felületen tranzisztorok ezreit, sőt millióit lehet ily módon felépíteni. A döntő szempont, hogy ezen összetett rendszerek tömeggyártásban készülnek, olcsók és rendkívül megbízhatóan működnek.

3

TECHNOLÓGIAI MÉRETSKÁLÁK

mm-es technológia: "mili"technológia

μm -es technológia: mikrotechnológia

nm-es technológia: nanotechnológia

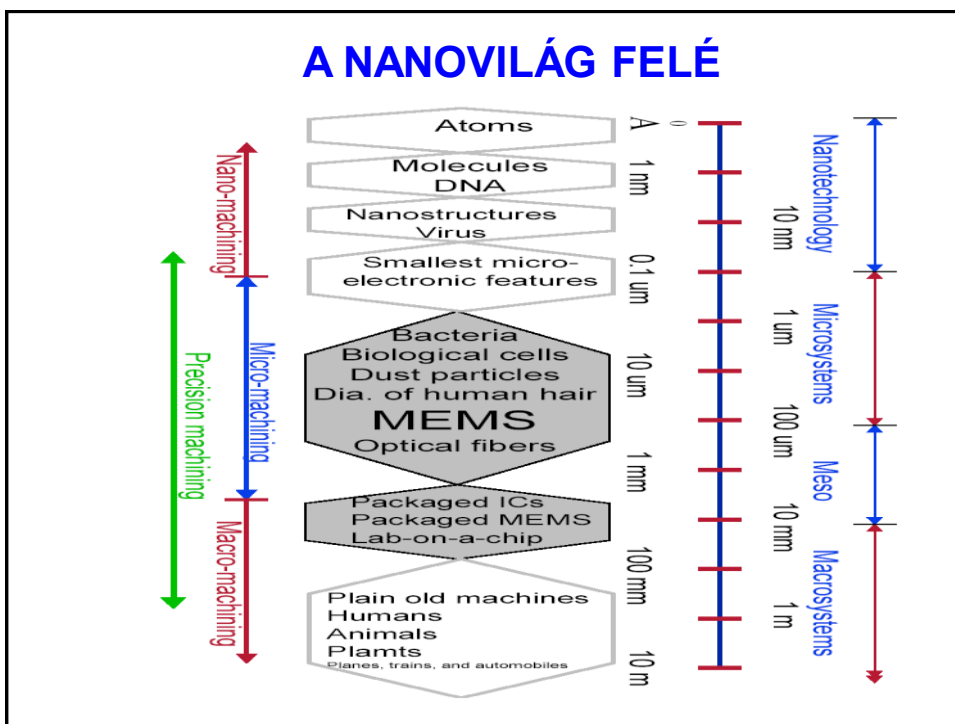
Általánosan elfogadott határ a mikro- és nanotechnológia között:

jellemző méret < 0,1 μm (100 nm)

A félvezető (IC) technológia (tömeggyártás!) már 2003-ban átlépte ezt a "küszöböt".

Szenzorok: jelenleg folyik a behatolás a nanovilágba!

4



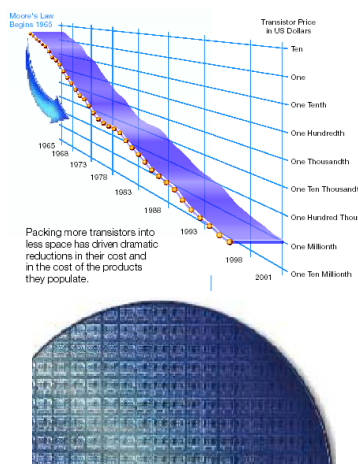
MM-ES TECHNOLÓGIA, FINOMMECHANIKA

Kb. 500-600 évvel ezelőtt élte világkorát a *finommechanika*, mely a maga korában a csúcstechnológiát jelentette. Az órásmesterek, ötvösök csipeszek, és nagyítók segítségével állítottak elő, a kor csúcstechnológiáját jelentő szerkezeteket; pl.: órákat, zenélő-mozgó szerkezeteket, programvezérelt „robotokat”. Az előállított termékek érdekességei, hogy egyediek, kézi gyártmányúak, és a gyártó mester kézügyességén múlt a pontossága, megbízhatósága, mivel komoly megmunkáló gépekkel nem rendelkeztek ekkor még. A finommechanika a „*millitechnológia*” korszaka volt. A fennmaradt eszközök precizitása a mai szemmel is bámulatos megoldásokat, és megmunkálásokat hordoz.

MIKROTECHNOLÓGIA ÉS MIKROELEKTRONIKA

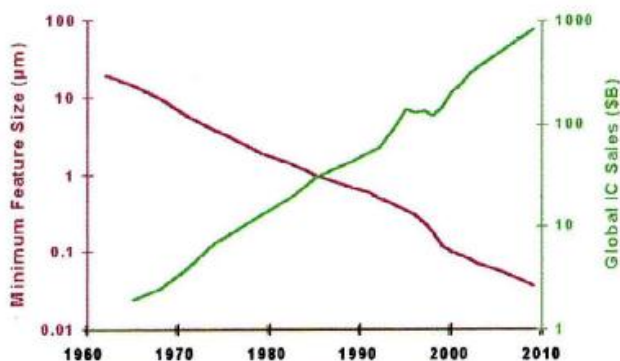
A világ technikai forradalmának kulcseleme: a **számítástechnikában** csúcsosodó **mikroelektronika**, annak a miniatürizációja húzta az összes ipart

Moore „szabály”



7

MOORE SZABÁLY

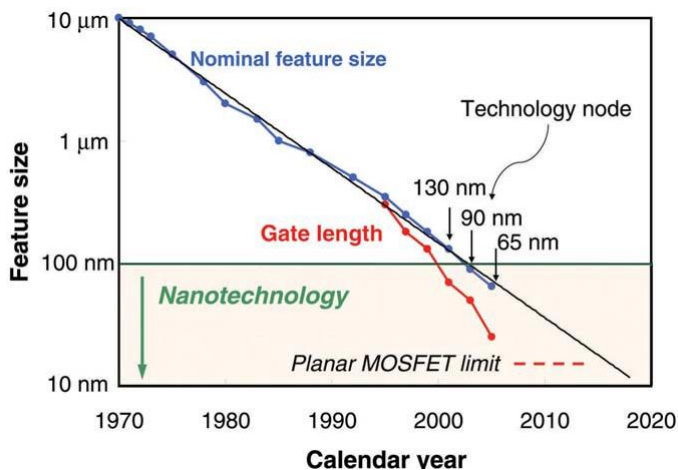


G. Moore (Fairchild/Intel) 1960-as években fogalmazta meg de még 2006-ban is működik (!):
90/130 nm csomópont

Jellemző méretek 1,8-2 évente feleződnek

8

MOORE SZABÁLY



Logic technology node and transistor gate length versus calendar year.

Note mainstream Si technology is nanotechnology.

NANOTECHNOLÓGIA

Nanos görögül törpét jelent. Egy nanométer a méter egymilliárdnyi (10^{-9} -ed) része.

A néhányszor tíz nanométer nagyságú fém és félvezető nanorészecskéket a kémikusok és a fizikusok már közel száz éve tanulmányozzák. Mivel az atomok átmérője tized nanométer, a molekuláké pedig nanométer nagyságrendű, így a kémia mindig is nanokémia volt, az atom- és molekulafizikát illetve a mezoszkopikus fizikát pedig nanofizikának is nevezhetnénk.

A közelmúltig csak nanorészecske sokaságot és azt is csak statisztikai módszerekkel lehetett kísérlet tárgyává tenni.

NANOMÉRETES ESZKÖZÖK NANOTECHNOLÓGIA

Utazás a törpék birodalmába (nanos = törpe)

nanométer = 10^{-9} m = 10 Angström

Minden olyan eszköz, amelynek jellemző hossza a nm tartományába esik.

Nanotechnology - összefoglalóan a nm-es eszközökkel foglalkozó tudományágak angol elnevezése

(benne van az elmélet, előállítás, alkalmazás is).



nanos *Greek* – the dwarf

nano – objects

- individuals & novel properties
- new laws of physics
- new schemes of interaction

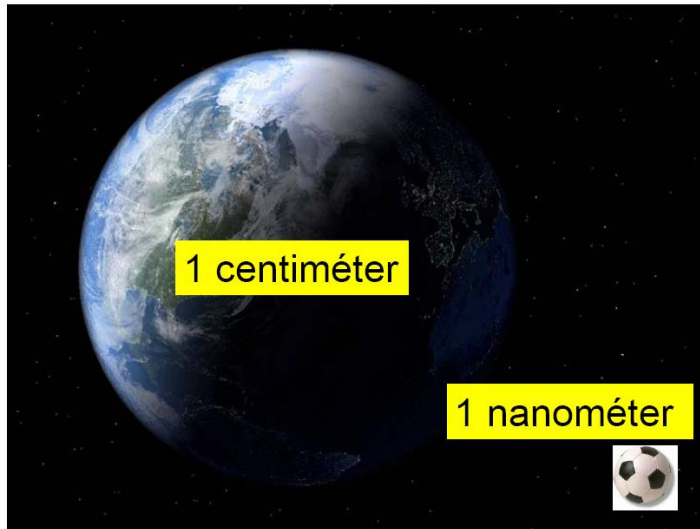
Nanotechnológia -
magyar terminológia,
nm-es eszköz előállítási
technológiája

NANOMÉRETES ESZKÖZÖK NANOTECHNOLÓGIA

A betegségeink jelentős hányadát előidéző baktériumok jellemző méretei az 1-10 mikronos tartományba esnek. Ezt a méretet azért érdemes megjegyezni, mert a baktériumok többé-kevésbé "szabadon" közlekednek az élőlények testében.

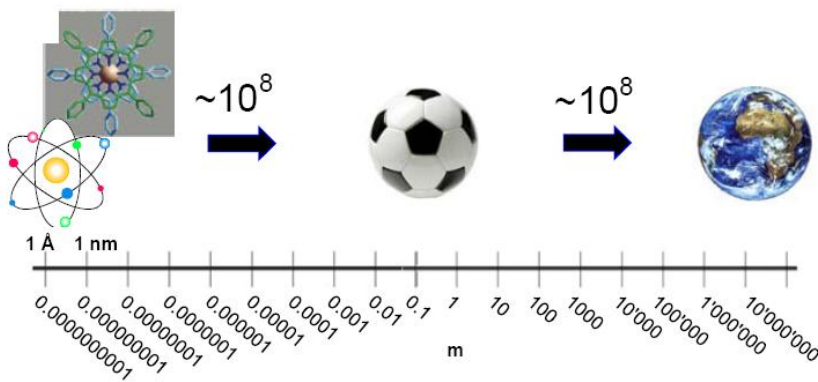
Ez az állítás fokozottan igaz a mikronnál kisebb objektumokra, az úgynevezett nanoobjektumokra. Egy nanométer ezerszer kisebb, mint a mikron, azaz egy baktérium 1000-10 000 egy nanométeres szeletre szeletelhető.

MÉRETARÁNYOK...



13

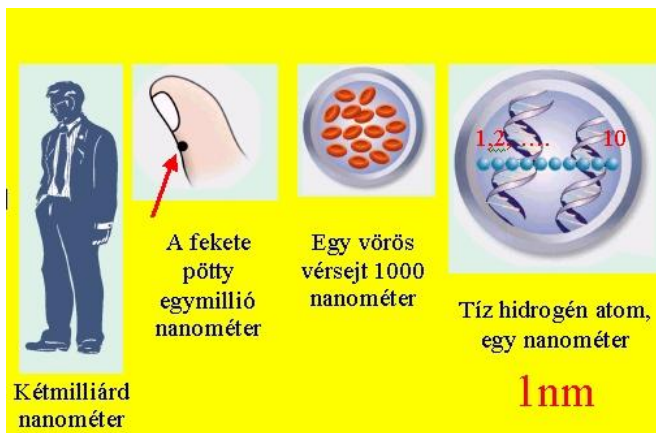
MÉRETARÁNYOK...



Mégegyszer a méretskála....

14

MÉRETARÁNYOK: AZ EMBERTŐL A NANOMÉTERIG

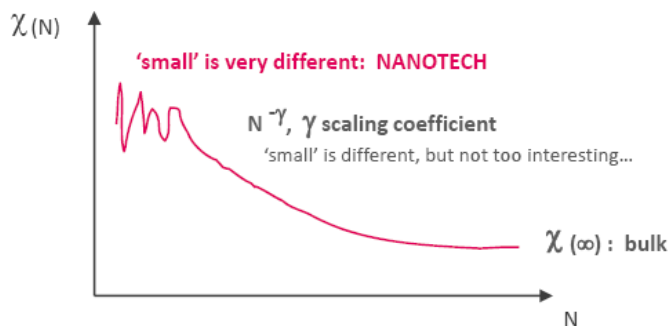


15

NANOTECHNOLÓGIA: DEFINÍCIÓ

Nanotechnology is engineering of matter on the sub-100 nm scale, with the result of new components with novel properties.

Új tulajdonság:

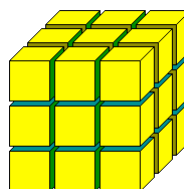
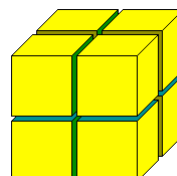


16

AZ ARANY MINDIG "ARANY"?

Cutting down a cube of gold

- If you have a cube of pure gold and cut it, what color would the pieces be?
- Now you cut those pieces.
- What color will each of the pieces be?
- If you keep doing this - cutting each block in half - will the pieces of gold always look "gold"?

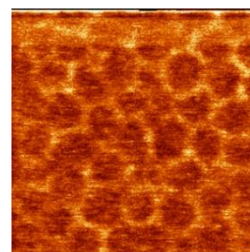


17

NANOARANY

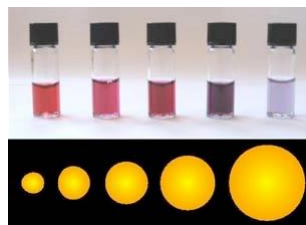
Az arany nm-es méretre darabolva már nem aranszínű, hanem VÖRÖS!

Sőt a méretettől függően vörös, kék, sárga, és más színűnek is látszanak.



12 nm-es aranyrészecskék vörösnek látszanak
Más méreteknél a színük is más

Oka: különböző vastagságú anyag-részecskék másképp nyelik el, illetve verik vissza a fényt.



NANOTECHNOLÓGIA KEZDETEI

Az 1980-as és 1990-es években a nanokémia és nanofizika megkezdte az egyedi nanorészecskék és egyedi molekulák világának birtokba vételét, mivel újfajta mikroszkópok és eljárások egész sora jelent meg. A pásztázó alagútmikroszkópok ([Scanning Tunneling Microscope -STM](#)) és az atomerő mikroszkópok ([Atomic Force Microscope - AFM](#)) már nem csak bepillantást engednek ebbe a világba, hanem kialakulóban vannak eljárások az anyag nanométeres finomságú megmunkálására is. Évről évre új mérési eljárások és műszerek, valamint új megmunkálógépek születnek, új nanotechnológiai laboratóriumok épülnek.

19

A NANOTECHNOLÓGIA SZÜLETÉSE

A nanotechnológia születése kapcsán szokás [Richard P. Feynman](#) híres, 1959-es előadását idézni: [There's Plenty of Room at the Bottom, An Invitation to Enter a New Field of Physics](#) (Bőven van hely lefelé. Kedvcsináló a fizika új területének feltárására) . Kivételes előrelátásra, vízióra vall, hogy még az integrált áramkörök megjelenése előtt, immár bő negyven éve megnevezte a méretek csökkentésének, azaz az integrációnak fő hajtóerejét: "Az információ nem terjedhet a fénysebességnél gyorsabban, így ahhoz, hogy számítógépeink egyre gyorsabban és precízebben működhessenek, egyre kisebb méretűekké kell válniuk.

20

A PÁSZTÁZÓ ALAGÚT MIKROSKÓP

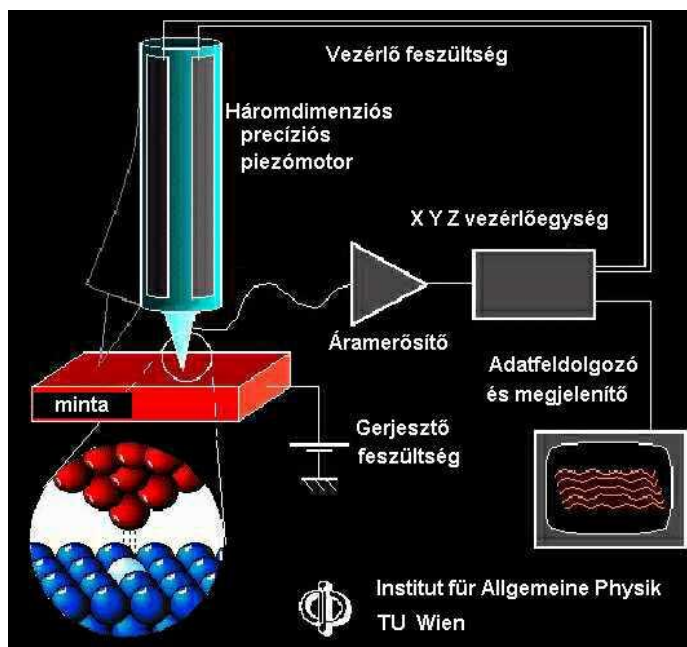
Scanning Tunneling Microscope, STM

1980-as években kifejlesztett technika.

Működési elv: ún. alagútáram, amely akkor folyik, ha egy hegyes tű legalább 1 nm távolságra megközelít egy elektromosan vezető felületet.

A tű végigpásztázza a felületet, az STM elektronikája mindig úgy mozdítja el, hogy az alagútáram, (és így tulajdonképpen a felület és a tű távolsága) állandó maradjon.

A felület pontos lekövetése rögzíthető és ábrázolható úgy, mint a felület domborzati képe



22

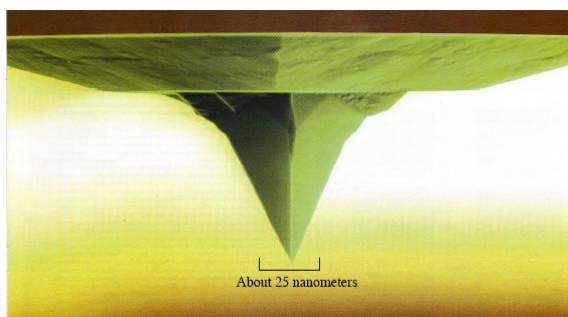
SCANNING TUNNELING MICROSCOPY

A pásztázó alagút(áram)mikroszkóp (Scanning Tunneling Microscopy, STM) az a nyolcvanas években **Gerd Binnig** és **Heinrich Rohrer** által kifejlesztett technika, amely lehetővé teszi, hogy szilárd felületekről addig soha nem látott felbontással készítsünk képeket. Az STM működésének alapja egy úgynevezett alagútáram, amely akkor folyik, ha egy hegyes tű legalább 1 nanométer távolságra megközelít egy elektromosan vezető felületet. A hegyes tűt egy piezoelektromos rúd végére szereljük, így parányi elmozdulása elektronikusan vezérelhető. Mialatt végigpásztazza a felületet, az STM elektronikája mindig úgy mozditja el, hogy az alagútáram, és így tulajdonképpen a felület és a tű távolsága állandó maradjon.

23

Scanning probe microscopes, developed in the 1980s, give us a new way to “see” at the nanoscale

We can now see really small things, like atoms, and move them too



This is about how big atoms are compared with the tip of the microscope

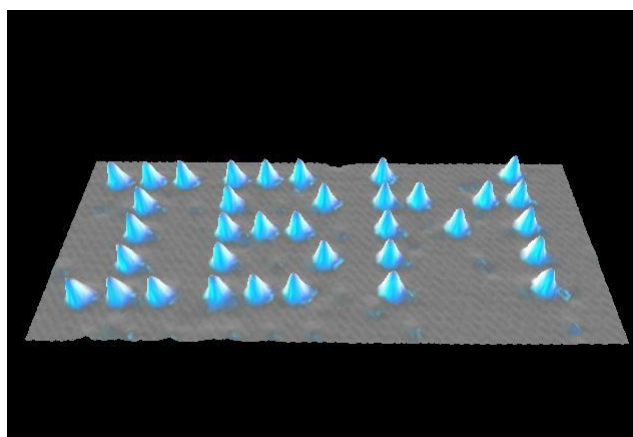
24

STM

A hegyes tűt egy piezoelektromos rúd végére szereljük, így parányi elmozdulása elektronikusan vezérelhető. Mialatt végigpásztázza a felületet, az STM elektronikája mindig úgy mozdítja el, hogy az alagútáram, és így tulajdonképpen a felület és a tű távolsága állandó maradjon.

25

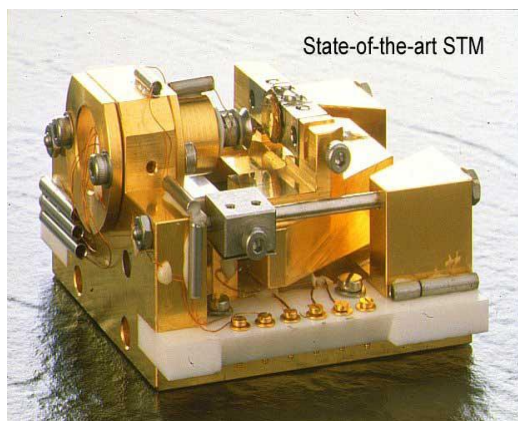
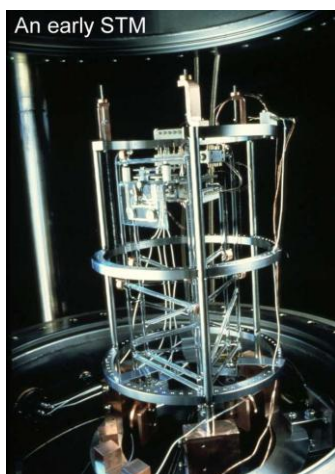
STM



Az STM mint nano „szerszám”

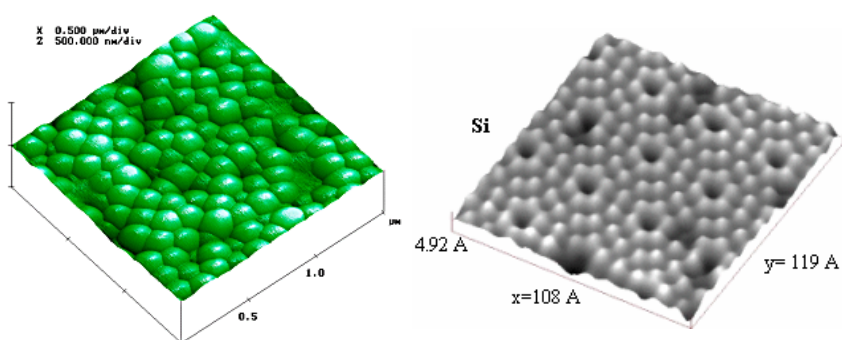
26

SCANNING TUNNELING MICROSCOPE



27

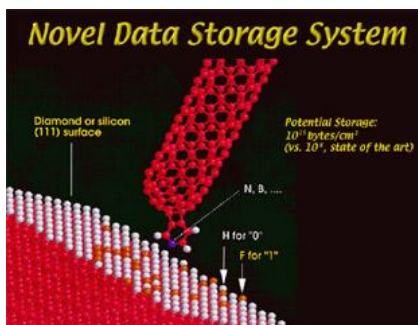
STM FELVÉTELEK



Pásztázó alagút mikroszkóppal készített felvételek során a felület pontos lekövetése rögzíthető és ábrázolható úgy, mint a felület domborzati képe az egyes atomok felülete egymástól megkülönböztethető, és láthatóvá tehető.

28

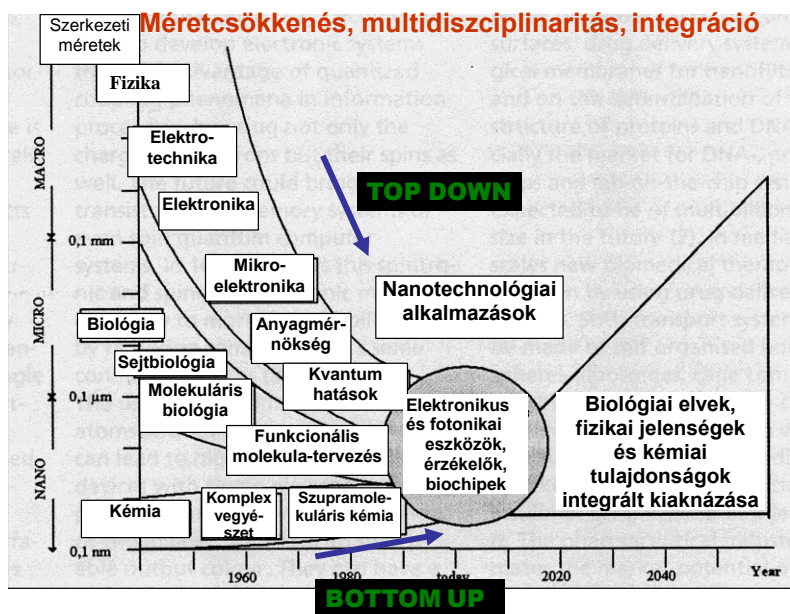
A NANOTECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSI TERÜLETEI



Nanoelektronika (áramköri és összekötő elemek, adattárolás)
 Nanooptika
 Képernyők
 Szenzorika
 Kompozit anyagok, nanorészecskék
 Biomedicinális alkalmazások
 Energia és környezet
 Textiliák, stb.
 Űrkutatás és alkalmazásai

31

ÚT A NANOTECHNOLÓGIÁHOZ



32

MIÉRT MÁΣ A NANOMÉRETEK VILÁGA?

- A fizikus szemével: azért mert az egy nano-objektumot alkotó atomok döntő többsége felületi atomnak tekinthető



=> olyan mint „csomagolópapír az ajándékon”, más mint maga az ajándék

ÚJ tulajdonságok

MÉRET meghatározta viselkedés

KVANTUMOS hatások

ATOMOKBÓL

összeépíthetők „kifaragás” helyett

33

MŰKÖDÉSI ELVEK MIKRO- ÉS NANOSKÁLÁN

Micro- and Nano-scale physics may behave differently in macro-scale world, e.g. Sticking effect, surface tension, quantum tunneling effect

Surface effects are playing more important roles in the operational physics of micro- and nano-structures and devices

Felületi és tömbben lévő atomok aránya 1 cm³, 1 μm³ és 1 nm³ kocka esetén (atomok távolsága ~ 0,25 nm):

$$1 \text{ cm}^3 : (6 \times (4 \times 10^7)^2) / (4 \times 10^7)^3 = 1,5 \times 10^{-7}$$

$$1 \text{ μm}^3 : \sim (6 \times 4000^2) / (4000)^3 = 0,0015$$

$$1 \text{ nm}^3 : (64 - 8) / 64 = 0,875$$

SKÁLA ANALÍZIS

Most physical quantities (force, mass, volume, etc.) scale differently with dimension L

Example: weight-lifting of human being. Assume the muscle stress is the same for different human body size,

$$\text{Body weight} \sim L^3$$

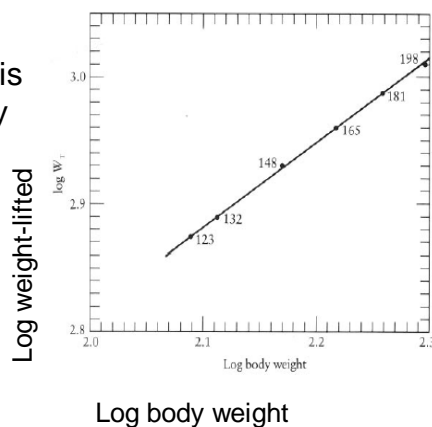
$$\text{Weight-lifted}$$

$$\sim (\text{muscle stress}) \times (\text{area})$$

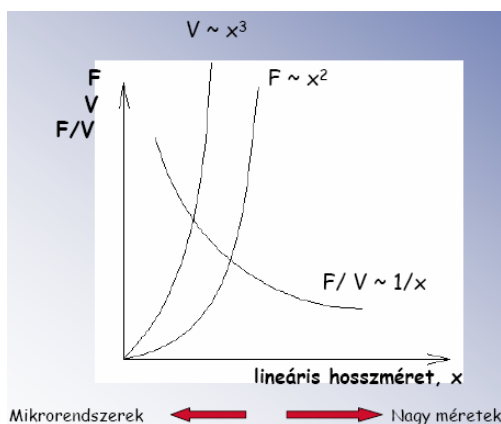
$$\sim \text{constant} \times L^2$$

$$\sim (\text{Body weight})^{2/3}$$

World weight-lifting record
Vs. Body weight



A KIS MÉRETEK HATÁSA



Felület [m²] $F \sim x^2$

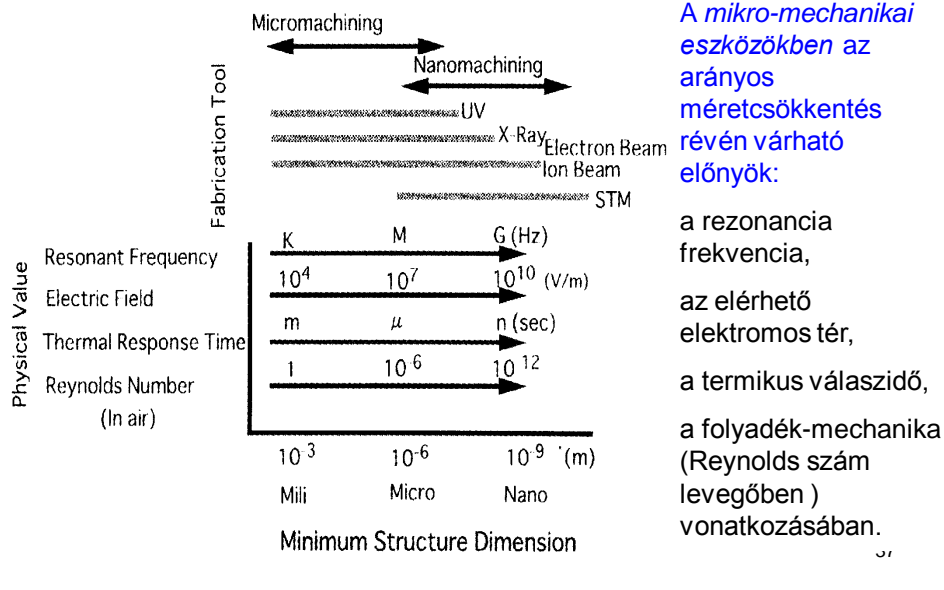
Térfogat [m³] $V \sim x^3$

Súly [N] $G \sim V \sim x^3$

$$F/V \sim 1/x$$

x - hossz méret

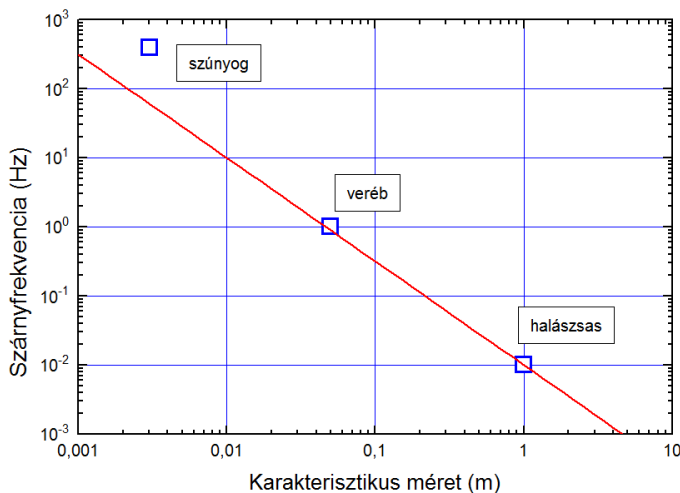
A MÉRETCSÖKKENTÉS HATÁSAI



A MÉRETEK HATÁSA A SZÁRNYFREKVECIÁRA A TERMÉSZETBEN



A MÉRETEK HATÁSA A SZÁRNYFREKVECIÁRA A TERMÉSZETBEN



Fizikai modell: $f \sim m^{-1/2} \sim L^{-3/2}$

39

A KIS MÉRETEK KÖVETKEZMÉNYEI

1. A lineáris méretek csökkenésével a térfogat, és ezzel együtt a tömeg/súly is a harmadik hatvánnyal csökken. Emiatt pl. a finommechanikában, vagy akár a mikromechanikában az objektum vagy eszköz súlyából eredő erőhatásokra nem kell méretezni.

2. A lineáris méretek csökkentésével a felület négyzetesen, azaz a térfogathoz képest egy hatványkitevővel kisebb mértékben csökken. Tehát a kisebb objektum, eszköz vagy szerkezet viszonylag nagy felületű lesz. Ennek egyik következménye, hogy egy kisebb szerkezet relatíve nagyobb teljesítményekre képes, mivel a relatíve nagyobb felület miatt jobbak a hűtési viszonyok. A másik, még fontosabb következmény, hogy megnő, illetve dominánssá válnak a felületi hatások.

40

A KIS MÉRETEK KÖVETKEZMÉNYEI

3. A lineáris méretek csökkenésével a rendszer sajátfrekvenciája növekszik. Ez azt jelenti, hogy kisebb rendszer gyorsabb működésre képes.
4. A lineáris méretek csökkenésével a kapacitások (elektromos-, hő-) is csökkennek. Ennek következménye szintén a gyorsabb működés.
5. A lineáris méretek csökkenésével eddig figyelmen kívül hagyott fizikai törvények kerülnek előtérbe. Pl. felületi feszültség, vagy kvantummechanikai (méret-) hatások.

41

NANOSZERKEZETEK

1. Milyen nanoszerkezeteket tudunk előállítani?
2. Milyen nanoszerkezetek léteznek a természetben?

NanoSense  13

Nanostructures

**What kind of nanostructures
can we make?**

**What kind of nanostructures
exist in nature?**



42

SZÉN NANOCSÖVEK

NanoSense

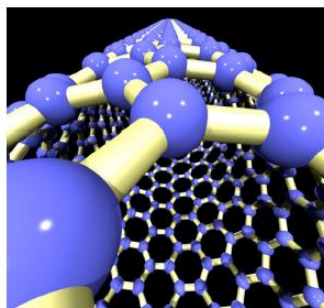
14

Carbon Nanotubes

Az új technológiákkal bámulatos szerkezeteket, mint pl. szén nanocsöveket lehetett létrehozni.

100x erősebb mint az acél, és igen rugalmas.

Pl. gépkocsi lökhárító anyagába integrálva megnöveli a szilárdságát és a rugalmasságát



Model of a carbon nanotube



C60 MOLEKULA (FULLERÉN)

NanoSense

15

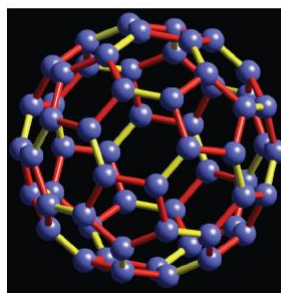
Carbon Buckyballs (C60)

Rendkívüli szilárdság a kötészerkezetéből és a "futball-labda" alakból kifolyólag.

Lehetséges alkalmazás mint „kapszula” gyógyszeradagolásnál.

Áthatol a sejtek falán.

Kémiaiilag semleges (véráramban káros hatások nélkül mozoghat).



Model of Buckminsterfullerene



44

NANOSZERKEZETEK LÉTREHOZÁSA

NanoSense

17

Building Nanostructures

How do you build things that
are so small?



45

"GYÁRTÁSI" MÓDOK

NanoSense

18

Fabrication Methods

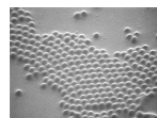
Atomonként való „összeszerelés”.
Atomok egyenkénti mozgatása és
pozicionálása, STM-el illetve AFM-el.

Felesleges anyagrészek (atomok)
eltávolítása (mint pl. ahogy a szobrász
vagy a vésnők dolgozik).

Önszerveződésen alapuló technológia.
Megfelelő körülmények létrehozása
mellett végbemenő fizikai és kémiai
folyamatokkal.
A természet ezt alkalmazza.



IBM logo assembled
from individual xenon
atoms



Polystyrene
spheres self-
assembling



46

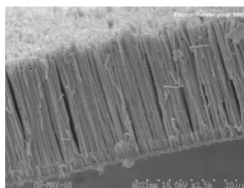
”GYÁRTÁSI” MÓDOK

NanoSense

19

Example: Self Assembly By Crystal Growth

- **Grow nanotubes like trees**
 - Put iron nanopowder crystals on a silicon surface
 - Put in a chamber
 - Add natural gas with carbon (vapor deposition)
 - Carbon reacts with iron and forms a precipitate of carbon that grows up and out
- **Because of the large number of structures you can create quickly, self-assembly is the most important fabrication technique**



Growing a forest of nanotubes!



47

AJÁNLOTT IRODALOM: NANOTECHNOLÓGIA

Mojzes Imre, Molnár László Milán: [Nanotechnológia](#), Műegyetemi Kiadó, 2007.

Magyar Tudomány 2003 (9) Nanotechnológia tematikai szám, szerk. Gyulai József.

Letölthető (!) cikkenként: www.matud.iif.hu/03/sze

Az érzékelőkhöz ajánlott elolvasni:

Bársony István: [Mikrogépészeti eljárásokkal a nanotechnológia felé](#), 1083-1089 old.

48